

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Konstrukční návrh soustruhu na obrábění dřevěných
polotovarů**

Construction Design of the Lathe for Wooden Blanks
Machining

Student: Tomáš Polášek
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Ostrava 2012

VSB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Polášek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Konstrukční návrh soustruhu na obrábění dřevěných polotovarů**
Construction Design of the Lathe for Wooden Blanks Machining

Zásady pro vypracování:

V rámci zadání vypracujte stručnou rešerši daného problému. Navrhněte varianty konstrukčního řešení soustruhu na obrábění dřevěných polotovarů včetně kopírovacího mechanismu. Pro vybrané nejvhodnější řešení zpracujte výkresovou dokumentaci a kritické uzly ověřte výpočtem. Točný průměr soustruhu je 280mm a točná délka je jeden metr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1290-8
KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1860-3
DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanex a.s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočet a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady ČAMS Spoje*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8
LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Úvaly: Albra-pedagogické nakladatelství, 2003, ISBN 80-86490-74-2

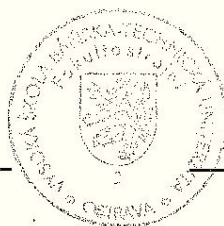
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ... 21.5.2012 .

Pelášek Tomáš

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2012

Polášek Tomáš

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Polášek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hradská 280

Lukov 763 17

Anotace bakalářské práce

POLÁŠEK, T. *Konstrukční návrh soustruhu na obrábění dřevěných polotovarů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní , Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 48s. Vedoucí práce: Kubín T.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem soustruhu na obrábění dřevěných polotovarů. V úvodu je seznámení se samotným soustruhem na obrábění dřeva, s historií soustruhů, s teorií obrábění dřeva a s průzkumem českého trhu. Dále pak práce obsahuje konstrukční návrhy a výpočty hlavních částí, přiblížení konstrukce jednotlivých částí soustruhu, jako například konstrukci vřeteníku, koníku, opěry nástrojů a kopírovacího zařízení. V příloze bakalářské práce je sestavný výkres soustruhu, sestavný výkres soustruhu s kopírovacím zařízením a výrobní výkresy vybraných dílů.

Annotation of Bachelor Thesis

POLÁŠEK, T. *Construction Design of the Lathe for Wooden Blanks Machining: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering. Department of Production Machines and Desing, 2012, 48p. Thesis head: Kubín T.

This thesis deals with construction design of the lathe for wooden blanks machining. In the beginning, I would like to introduce the lathe for machining wood, a history of lathes, a teory of machining wood and research on the Czech market. Furthermore, the work includes structural design and analysis of the main components then design approach of individual parts of a lathe such as the construction of the headstock, tailstock , tool rest and copying equipment. In the Annex of this work is assembly drawing of the lathe, assembly drawing of the lathe with duplicating equipment and production drawings of selected parts.

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Tomáši Kubínovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a nápady při vypracování této bakalářské práce.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	2
Úvod	5
1 Rešerše soustruhů na obrábění dřeva	6
1.1 Historie soustružení.....	7
1.2 Teorie obrábění dřeva	8
1.3 Nástroje.....	10
1.4 Vlastnosti dřeva.....	13
2 Průzkum trhu.....	15
2.1 Konstrukce a parametry soustruhů na trhu.....	16
2.2 Příslušenství k soustruhům	20
3 Konstrukční návrh a výpočet hlavních částí.....	22
3.1 Návrh lože soustruhu	22
3.2 Volba pohonu a výpočet výkonu.....	25
3.3 Volba převodu	27
3.4 Návrh a výpočet řemenového převodu	30
3.5 Návrh odstupňované řemenice.....	33
3.6 Výpočet axiální síly působící na vřeteno.....	34
3.7 Výpočet průměru hřídele vřetene	35
3.8 Kontrola pera na otláčení	37
3.9 Trvanlivost ložisek.....	38
4 Konstrukce jednotlivých částí	39
4.1 Vřeteník.....	39
4.2 Uložení motoru a napínání řemene	40
4.3 Koník a vedení	41
4.4 Podpěra dláta.....	43
4.5 Kopírovací zařízení	43
5 Závěr.....	46
Seznam použité literatury.....	47
Seznam příloh	47

Seznam použitých značek a symbolů

A	Osová vzdálenost řemenic	[mm]
A_{MAX}	Maximální osová vzdálenost řemenic	[mm]
A_{MIN}	Minimální osová vzdálenost řemenic	[mm]
A_{SKUT}	Skutečná osová vzdálenost řemenic	[mm]
C	Dynamická únosnost ložiska	[N]
C_k	Součinitel počtu řemenů v převodu	[N]
C_L	Součinitel vlivu délky řemene	[-]
C_0	Statická únosnost ložiska	[N]
C_P	Součinitel dynamičnosti a pracovního režimu	[-]
C_α	Součinitel vlivu opásání	[-]
D_1	Průměr hnací řemenice	[mm]
D_{1MAX}	Maximální průměr hnací řemenice	[mm]
D_{1MIN}	Minimální průměr hnací řemenice	[mm]
D_2	Průměr hnané řemenice	[mm]
D_3	Střední průměr řemenice	[mm]
F	Obvodová síla	[N]
F_1	Síla působící na pero v náboji	[N]
F_A	Axiální síla působící na ložisko	[N]
F_{MAX}	Síla potřebná k zakousnutí hrotu	[N]
F_o	Předpětí řemene	[N]
F_R	radiální síla působící na ložisko	[N]
F_z	Řezná síla	[N]
K	Počet řemenů	[-]
L_p	Normalizovaná délka řemene	[mm]
L'_p	Výpočtová délka řemene	[mm]
L_{10}	Trvanlivost ložiska	[hod]
M_k	Krouticí moment	[N · m]
N_0	Ideální jmenovitý výkon na jeden řemen	[kW]

N_p	Skutečný výkon přenesený jedním řemenem	[kW]
P_e	Výkon elektromotoru	[W]
R	Zaoblení pera	[mm]
R_{md}	Mez pevnosti v tlaku napříč vlákny	[MPa]
R_w	Odpor materiálu proti štípání	[MPa]
S	Průřez třísky	[mm ²]
S_p	Rozštípnutá plocha	[mm ²]
X	Koeficient radiálního dynamického zatížení	[-]
Y	Koeficient axiálního dynamického zatížení	[-]
b	Šířka pera	[mm]
b_p	Šířka břitů	[mm]
d_h	Skutečný průměr hřídele	[mm]
d'_h	Průměr hřídele	[mm]
d_o	Točný průměr	[mm]
f	Součinitel vláknového tření	[-]
f_0	Součinitel tření	[-]
f_k	Součinitel tření v klínové drážce	[-]
g	Gravitační zrychlení	[m · s ⁻²]
h	Výška pera	[mm]
i	Převodový poměr	[-]
i_p	Počet břitů na hrotu	[-]
i_{SK}	Skutečný převodový poměr	[-]
k	Bezpečnost proti prokluzu	[-]
l	Délka pera	[mm]
l_p	Hloubka proniknutí břitů	[mm]
l'	Výpočtová délka pera	[mm]
l_o	Točná délka	[mm]
m	Součinitel styku valivých elementů	[-]
n_1	Otáčky hnací řemenice	[m · s ⁻¹]
n_2	Otáčky hnací řemenice	[m · s ⁻¹]

p_1	Měrný tlak působící na bok pera v náboji	[MPa]
p_D	Dovolený měrný tlak	[MPa]
$p_{\hat{R}}$	Řezný odpor	[MPa]
s	Pružný skluz řemene	[-]
t	Výška pera v hřídeli	[mm]
t_1	Výška pera v náboji	[mm]
v	Obvodová rychlost obrobku	[m · s ⁻¹]
v_1	Obvodová rychlost hnací řemenice	[m · s ⁻¹]
v_2	Obvodová rychlost hnané řemenice	[m · s ⁻¹]
α	Úhel opásání hnací řemenice	[°]
α_L	Jmenovitý úhel styku ložiska	[°]
$\hat{\alpha}$	Úhel opásání hnací řemenice	[°]
γ	Doplňkový úhel	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	Hustota	[kg · m ⁻³]
τ	Napětí v krutu	[MPa]
τ_D	Dovolené napětí v krutu	[MPa]

Úvod

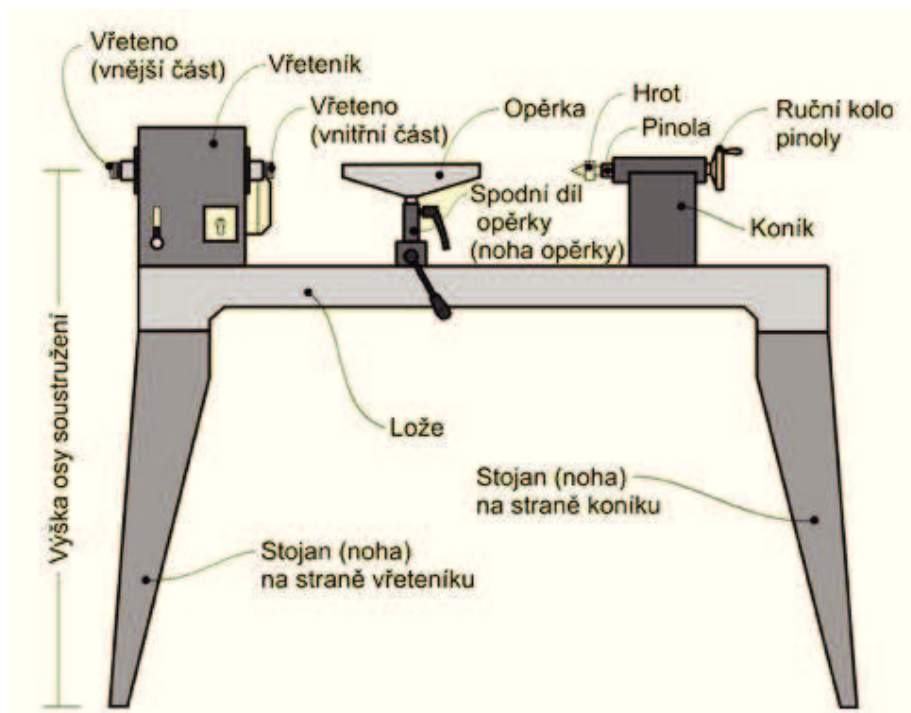
Cílem této práce je navrhnout konstrukční řešení soustruhu na obrábění dřevěných polotovarů a to i včetně kopírovacího zařízení, dle zadání. Konstrukční návrh soustruhu umožní obrábění polotovaru o průměru 280mm a délky 1000mm.

Soustruh na obrábění dřeva slouží ke zhotovování rotačních polotovarů nebo hotových výrobků. Polotovar se upíná mezi hrot vřetena a hrot koníku. Pokud je soustruh vybaven sklíčidlem pak se upíná jen do sklíčidla nebo navíc podepírá koníkem. Obrábí se soustružnickými dláty, které jsou drženy v rukou a podepírají se o opěrku. Přesnost a kvalita obrobku závisí na šikovnosti a zkušenostech soustružníka. Lze použít různých přípravků pro zjednodušení a zpřesnění práce, jako například kopírovací zařízení. To umožňuje zhotovování stejných kusů podle předlohy, ze které se geometrie přenáší na obrobek.

Soustruhy se používají především v truhlářských dílnách, ale může ho využívat i domácí kutil. Soustruhy, jako většina zařízení se stále vyvíjí a modernizuje. Ve velkých firmách, zabývajících se masovou výrobou výrobků ze dřeva, můžeme nalézt počítačově řízené CNC soustruhy.

1 Rešerše soustruhů na obrábění dřeva

V první kapitole chci představit samotný soustruh na obrábění dřeva, popsat hlavní části a technické parametry určující soustruh. Dále pak přiblížit historii soustružení a vývoj samotného soustruhu, teorii obrábění dřeva a průzkum trhu.



Obr. 1.1 Popis soustruhu [4]

Na Obr. 1.1 je zobrazeno a popsáno schéma soustruhu. Jednotlivé části dále popisují.

Lože je hlavní částí, jakousi páteří, ke které jsou připojeny ostatní, jako například vřeteník, koník a stojan. Lože určuje celkovou tuhost soustruhu, proto je na něho kladen důraz. Vyrábí se litinové nebo svařované z profilů a plechů.

Vřeteník spolu s motorem je srdcem soustruhu. Preciznost provedení a uložení vřetene určuje trvanlivost i samotné použití. Dnes je oblíbeným doplňkem otočný nebo posuvný vřeteník umožňující obrábění velkých průměrů.

Na ruční soustružení se používají motory o výkonu 0,5 až 1,5 kW a k přenosu síly slouží řemenice nebo variátor. Regulace otáček se řeší počtem řemenic, mechanickým variátorem nebo frekvenčním měničem.

Koník slouží k podepření konce obrobku, u některých lze upnout vrták k vrtání otvorů. U koníku se cení tuhost a snadná manipulace.

Opěrka nástroje slouží k podepření a ulehčení vedení nástroje při obrábění. Její tvar a profil ovlivňuje bezpečnost a použití. [4]

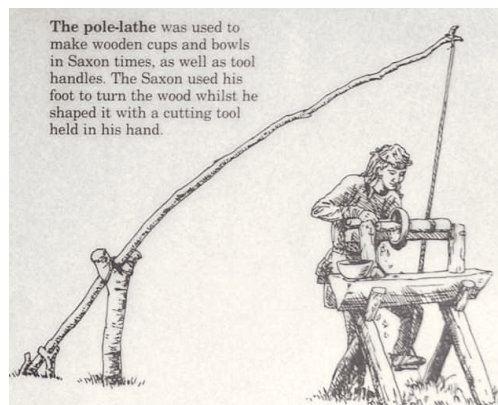
1.1 Historie soustružení

V obrábění se člověk začal zdokonalovat už v dávných dobách svého vývoje, kdy opracovával dřevo a kameny do vhodných tvarů. Přitom užíval nejrůznějších nástrojů a pomůcek, které postupem času zdokonaloval a neustále upravoval. K dosažení určitého tvaru obráběním bylo nutné vést nástroj určitou silou po požadované dráze. Na počátku tuto činnost vykonával člověk vlastní silou pouze rukama, později využíval síly zvířat, vody. První obráběcí stroje začaly vznikat, když se člověk pokoušel nahradit sílu a činnost rukou určitým mechanismem. Jako první se začaly objevovat vrtačky, které byly poháněny rukama nebo třetivou lukou. Už ve starověku se začaly objevovat soustruhy na dřevo, které měly svislou osu otáčení a vyvinuly se z hrnčířských kruhů. Teprve později vznikl ručně poháněný nebo šlapací soustruh s vodorovnou osou otáčením a s možností podepření a zapření nástroje. [1]



Obr. 1.2 Historický soustruh [4]

Tento vývoj se odehrál již před Kristem a v této oblasti pak dlouhou dobu stagnoval. Až Leonardo da Vinci posunul hranice schopností o kus dál, když začal využívat u obráběcích strojů prizmatické vedení a uložení. To se událo počátkem 16. století a na dlouho dobu to byl jediný posun vpřed. Podstatná část vývoje se odehrála za průmyslových revolucí v 19. století a pak ve 20. století, kdy došlo k podstatnému zrychlení. [1]



Obr. 1.3 Pružinové soustruh [4]

Do 18. století bylo převažujícím obráběným materiálem dřevo. Kov a ocel se obráběla zřídka, kvůli vysokým řezným odporům, malé tuhosti obráběcích strojů a nevyhovujícím nástrojům. Do 19. století se úprava kovů omezovala pouze na odlévání a tváření pomocí kovářských prací. To se ale změnilo příchodem lepších pohonů, jako mechanických, kdy to byl parní stroj a později elektromotor. V této době se využívalo k přenosu energie hřídele, řemenice a především kožených řemenů. Ty rozváděly energii z centrální pohonné jednotky po celé dílně. Bylo možné dokonce soustružení i závitů. To bylo umožněno vynálezem křížového suportu na vedení, což bylo posunem vpřed, jelikož už nebylo nutné nástroje opírat a držet v ruce, ale pomocí držáku a šroubů byly bezpečně a pevně upnuty. [1]

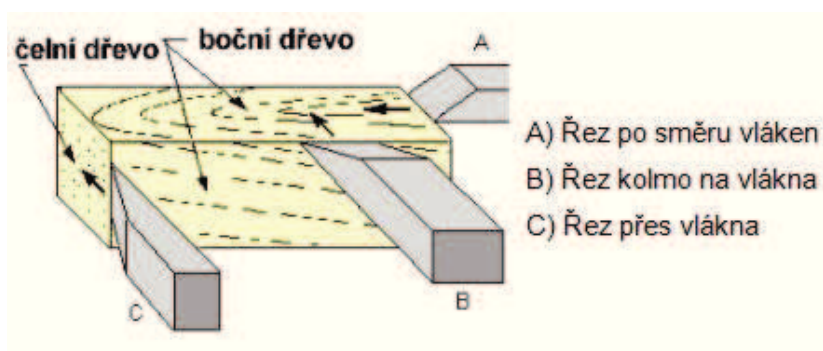


Obr. 1.4 Šlapací soustruh [5]

1.2 Teorie obrábění dřeva

Směry řezu

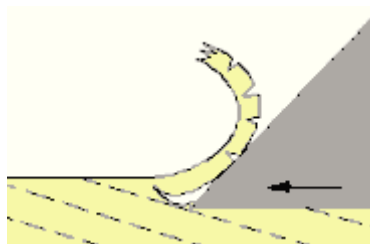
Jednotlivé buňky dřeva mají tvar dutých válců a dohromady tvoří formu vláken. Ta leží ve směru, který je víceméně axiální k ose kmenu nebo odnožím. Obrázek ukazuje kus dřeva a tři nástroje označují možné řezy. [2]



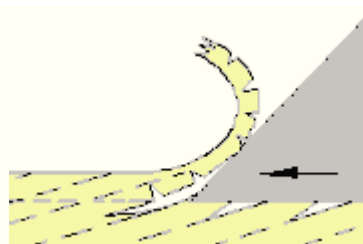
Obr.1.5 Směry řezu [2]

Řez po nebo proti vláknům

Při obrábění je žádoucí pracovat ve směru po vláknech a ne proti nim. Na obrázku je situace, kdy vlákna leží šikmo k horní ploše dřeva. Při hoblování po směru vláken, dochází k rozštěpení mezi vlákny nahoře a před špičkou nástroje a následně dojde k oddělení. Vzniká tak úhledný a čistý povrch. Jestliže jde ostří proti směru vláken, vytrhává a štípe vlákna dřeva. Vzniká nerovný a drsný povrch. [2]



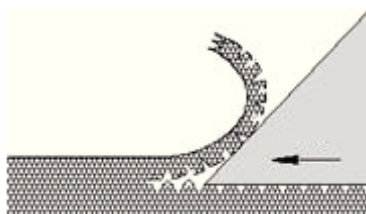
Obr. 1.6 Řez po vláknech [2]



Obr. 1.7 Řez proti vláknům [2]

Řez kolmo na vlákna

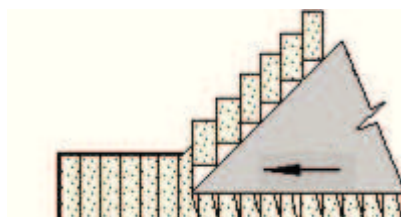
Při soustružení válcových částí leží vlákna dřeva souběžně s ostřím nástroje. Jakmile nástroj pronikne do materiálu, vlákna se ne vždy oddělí čistě. Vlákna mohou být vytrhnuta špičkou nástroje. [2]



Obr. 1.8 Řez kolmo na vlákna [2]

Řez přes vlákna

Při soustružení čela polotovaru, nebo při zhotovování zápichu či upichování, je ostří nuceno řezat přes vlákna. Vzniká nebezpečí, že vlákna budou před uříznutím ohnuta a otačena. Problém minimalizuje odebrání materiálu malou třískou a vysokou řeznou rychlostí. [2]



Obr. 1.9 Řez přes vlákna [2]

1.3 Nástroje

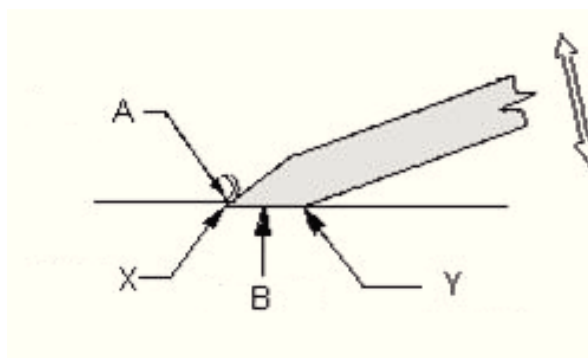
Dnešní nabídka soustružnických nástrojů je obrovská. Řezné části se zhotovují z uhlíkové oceli nebo oceli rychlořezné. U speciálních dlát můžeme nalézt i použití slinutých karbidů, kvalita se vyznačuje vysokou cenou. Oceli rychlořezné jsou houževnatější než uhlíkové, a byly původně vyvinuty k obrábění vyššími řeznými rychlostmi. Proto nástroje z rychlořezné oceli drží déle ostří. Přesto každá z používaných ocelí má své výhody i nevýhody. [2]

Existují tři hlavní typy nástrojů: Škrabky, rovná a dutá dláta. Dláta jsou popisována jako řezací jemné nástroje, naopak škrabky jako hrubé, který vytrhávají hoblinu. Dalším rozdílem je úhel řezu. Dláta mají ostrý úhel břitu ostří okolo 25° až 45° , proti tomu úhel břitu škrabky se blíží 90° . Ke škrabání lze použít i dláto, ale musí být drženo ve stejné poloze jako škrabka. [2]

Vedení dláta

Dřevo se odděluje nejlépe, když jsou vlákna odříznuta čistě a nevytrhávají se. Aby tomu tak bylo, musí hřbet nástroje ležet na materiálu obrobku a tvořit oporu nástroji. Také je důležité, ale k řezu docházelo po směru vláken. [2]

Na obrázku je vidět působení síly vytvářené odcházející třískou (A) a silou na hřbetu nástroje. [2]



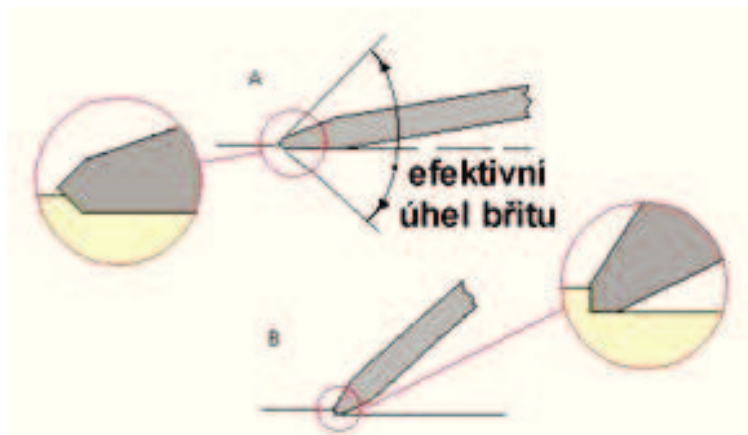
Obr. 1.10 Působení sil [2]

Jestliže je nástroj udržován ve správné pozici, síly A, B se vyrovnají a nástroj bude hladce odřezávat a nemusí se na nástroj příliš tlačit. [2]

Špatné naostření

Na všech nástrojích musí být břit plochý nebo konkávní, nesmí být konvexní. Špatným nabroušením můžou vzniknout dva problémy. [2]

Efektivní úhel řezu je velmi zvětšený a tím redukuje prostupnost nástroje. Kdyby hlavní hřbet ležel na obrobku, aby zajistil dostatečné vedení, ostří nebude odebírat třísku. Aby bylo možné s takovým dlátem pracovat, musí se změnit postavení nástroje a odklonit hřbet od materiálu. V této pozici má malou oporu a může dojít ke vtlačování nástroje do dřeva. [2]



Obr. 1.11 Úhel břitu [2]

Hrubovací dláta

Používají se k rychlému odebrání přebytečného materiálu velkou třískou. Tyto dláta se vyrábí především z uhlíkové případně rychlořezné oceli a ve vysokém „U“ profilu, který omezuje vyštvávání materiálu v rozích. Ostří svírá uhel cca 40°. Mívají často dlouhé rukojeti, k vyvození páky. [2]



Obr. 1.12 Hrubovací dláto [2]

Ploché dláta

Po hrubování vznikne obrobek s hrubým povrchem. Vytvořit hladký povrch lze pomocí plochého šikmého dláta. Při obrábění leží dláto hřbetem na materiálu, nástroj je vytočen do strany tak, aby svíral s osou obrobku úhel přibližně 45°. Tříska se odebírá střední a dolní částí ostří. Dláta mají obvykle dvojitý břit a jeho úhel by měl být od 25° do 45° maximálně. Zešikmení ostří bývá 60° až 80°. Jedná se o velmi všestranný nástroj. Typický je obdélníkový průřez nástroje, ale někteří výrobci vyrábí mírně oválný. [2]



Obr. 1.13 Ploché dláto [2]

Upichovací nože

V některých případech je potřeba oddělit kus obrobku, odpadovou část nebo vytvořit ostrou rýhu. K tomu se používají upichovací nože. Podobný je zapichovací nůž, v porovnání s upichovacím je širší a používá se pro mělké řezy. [2]

Profilová dláta

Primárně se používá na zakulacené rýhy do povrchu dřeva. Dláta jsou podobného průřezu jako hrubovací. Úhel břitu bývá zpravidla 30° až 45°. Nejčastěji se brousí do tvaru nehtu, ubrousí se více horní okraje. [2]



Obr. 1.14 Profilová dláta [2]

Škrabky

Na rozdíl od zmíněných nástrojů, je ve spojení s obrobkem pouze břit. Soustruží se bez opory čela. Při soustružení neodchází čistá hoblina jako u dlát, ale prach a piliny. Škrabky mají vysokou tuhost a velký úhel břitu okolo 80° až 90°. [2]

1.4 Vlastnosti dřeva

Dřevo je přírodní organický materiál. Největší podíl jeho složení tvoří celulóza (cca 42%), hemicelulóza (cca 26%) a lignin (cca 25%). Zbýlých 7% tvoří acetyl, popeloviny, škroby a tuky, bílkoviny, třísloviny, pryskyřičné látky, ve stopovém množství barviva, alkaloidy, glykosidy a ostatní složky. [3]

Dřevo je anizotropní materiál, to znamená, že v různých směrech má různé vlastnosti, protože obsahuje vlákna. Vlákna jsou 1 až 8mm dlouhé buňky a jsou přibližně rovnoběžná. Fyzikální vlastnosti u dřeva se v závislosti na směru vláken liší. [3]

Jednou z hlavních vlastností je vlhkost, kterou se rozumí podíl obsahu vody vůči obsahu sušiny v kusu dřeva. Dřevo je materiál hygroskopický, uchovává svoji vlhkost v rovnováze a závisí hlavně na vlhkosti okolí. Na vlhkosti závisí sousta dalších vlastností dřeva. Ztratí-li dřevo svoji vlhkost, sesychá a zmenšuje objem. V případě, že absorbuje vlhkost, bobtná a svůj objem zvětšuje. [3]

Hustota je jednou z veličin, která se s vlhkostí mění. Hustota běžně používaného dřeva se pohybuje od $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (smrk, borovice, modřín) do $1100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (dud, buk, habr, jilm) v syrovém stavu. Pomocí grafů nebo numericky lze přepočítat hustotu pro různé vlhkosti. [3]

Před používáním komponentů z kovů, plastů a keramiky bylo dřevo dobře dostupné a hojně se využívalo v elektrotechnice v rozvodových skříních, sloupy vedení, pojistky a jiné. Nejvýznamnější elektrická vlastnost dřeva je jeho odpor, po směru vláken je nejmenší a napříč asi dvacetkrát větší. Odpor se zvyšuje s objemem pórů a vlhkost klesá, též klesá se zvyšující se teplotou a s napouštěním dřeva solemi kovů. Elektroizolační vlastnosti lze měnit použitím impregnací. [3]

Pro výrobu dřevěných hudebních nástrojů mají význam akustické vlastnosti. Ty se využívají také při akustických úpravách místností a při výrobě zvukotěsných bariér například u silnic a kolejíšť. I přes dnešní možnosti, moderní techniky a technologie, se nepodaří některé akustické vlastnosti dřeva nahradit. [3]

Dřevo má výborné mechanické vlastnosti, jako pevnost a pružnost, které jsou ovlivněny směrem vláken, směrem letokruhů, hustotou, teplotou, vlhkostí, vadami, druhem dřeva a kvalitou zpracování. Z hlediska mechanických vlastností dřevo vykazuje srovnatelné nebo lepší parametry než jiné často používané parametry. [3]

Ve dřevě se objevují vady, z technického hlediska jsou negativní. Jsou to především suky a praskliny vzniklé růstem nebo sušením dřeva. Dále se mohou vyskytnout vady tvaru kmene, vady struktury dřeva, zapaření, napadení houbami, cizopasníky, poranění kmene. [3]

Ve dřevě dochází také ke změnám vlivem koroze. Korozí se míní nežádoucí změna na povrchu, která je způsobena účinkem chemicky nebo fyzikálně chemicky. Celkově je dřevo chemikáliím poměrně odolné. Proti slabým kyselinám a solím je odolnější než ocel nebo litina. [3]

Poslední významnou vlastností je výhřevnost. Ta závisí na vlhkosti, která se při spalování odpařuje a část energie se spotřebuje na její odpaření. Energie vzniká hořením sušiny. Výhřevnost samotné sušiny se pohybuje od $17,5 MJ \cdot kg^{-1}$ do $22 MJ \cdot kg^{-1}$. Při běžné vlhkosti klesá výhřevnost na cca $15 MJ \cdot kg^{-1}$. Bod koření se pohybuje mezi $330^{\circ}C$ a $470^{\circ}C$, ale bod vzplanutí pouze mezi $180^{\circ}C$ a $275^{\circ}C$. [3]

Dřevo je snadno dostupná, ekologická a obnovitelná surovina. Může být využíváno jako plnohodnotná náhrada drahých a umělých surovin. V současné době nejsou jeho možnosti plně využívány. [3]

2 Průzkum trhu

V dnešní době lze pořídit výborné stroje pro hobby i profesionální užití, vše je jen otázkou ceny. Moderní stroje na obrábění dřeva vynikají vysokou kvalitou, snadnou manipulací a bezpečností. Mezi tyto stroje patří i soustruhy na dřevo, vhodné do dílny truhláře nebo kutila. [6]

Soustruhy jsou určeny především pro běžné soustružení rotačních válcových, kuželových a tvarových ploch. Soustružit lze jak z tvrdého tak i z měkkého dřeva. [6]

Moderní soustruhy jsou poháněny střídavým jednofázovým motorem s rozběhovým kondenzátorem. Cílové otáčky zajišťuje několikastupňová řemenice, frekvenční měnič nebo mechanický variátor, který přímo za chodu stroje plynule mění otáčky bez ztráty výkonu. Soustruhy navíc vykazují dostatečnou tuhost pro běžné soustružnické práce i obrábění materiálu. [6]

Pro ukázkou jsem vybral tři zástupce firem vyrábějící soustruhy, jejichž výrobky lze zakoupit na českém trhu. Jsou to firmy Proma-CZ s.r.o., Holzmann Maschinen a Scheppach. Soustruhy těchto značek jsou známy výborným zpracováním, kvalitou a vysokým hodnocením uživatelů.

PROMA CZ s.r.o.

Od svého založení v roce 1992 se tehdejší obchodní sdružení zabývalo prodejem brusiva, nástrojů a elektronářadí. Činnost se později orientovala na dodávky kvalitního elektronářadí a obráběcích strojů. Původní dodávaný sortiment se rozšiřoval a doplňoval až do dnešní doby, kdy se firma stala jedním z nejvýznamnějších dodavatelů dřevoobráběcích a kovoobráběcích strojů na trhu. [7]

Proma je významným dovozcem holandské značky FERM. Dodávané obráběcí stroje značky PROMA jsou vyráběny v kooperaci a podléhají přísnému dohledu, včetně technického vývoje a inovace. Proto je u výrobků PROMA zabezpečen soulad s bezpečností, což je potvrzeno certifikáty CE. Sortiment je určen širokému okruhu zákazníků z řad kutilů, řemeslníků, odborných dílen. Velké uplatnění mají také ve školských a učňovských zařízeních. [7]

Obráběcí stroje PROMA jsou vyrobeny s respektem k požadavkům na kvalitu a účelnost. Díky vývojovou činnosti dochází k vylepšení a konstrukčním úpravám. Provedení, použité materiály a výroba splňují veškeré požadavky technických norem. [7]

HOLZMANN MASCHINEN

Holzmann Maschinen Austria je rakouská společnost s výrobními závody v Číně, Bulharsku a s velkým zázemím v Rakousku. Firma v současné době nabízí stroje v západní a východní Evropě, Skandinávii, Africe a Asii. [8]

Úspěch značky závisí na neustálém vývoji a zlepšování kvality a rozšiřování prodejního programu. [8]

Firma vznikla před více jak dvaceti lety sloučením dvou samostatných subjektů Holzmann Maschinen Humer a Holzmann Maschinen Schörgenhuber, kteří se zabývali dřevoobráběcími stroji a zařízení v Rakousku. Postupně rozšířili svůj výrobní program na stroje obrábějící kovy, plechy. Před dvěma lety založili firmu Zipper, která se soustředí na zahradní techniku, štípací a stavební techniku. [8]

SCHEPPACH

Firma Scheppach již 78 let nabízí profesionální stroje pro práci se dřevem. Jedná se o tradiční německou preciznost, propracovanost každého detailu a excelentní servis. Nejpokrokovější stroje společnosti Scheppach jsou výsledkem nejlepší technologie a inovace. [9]

2.1 Konstrukce a parametry soustruhů na trhu

Soustruhy výše zmíněných značek jsou známy výborným zpracováním, kvalitou a vysokým hodnocením uživatelů. Proto představují od každé firmy jeden výrobek s technickými parametry.

Soustruh na dřevo DF 1200 HOLZMANN

Předností tohoto soustruhu je široké a těžké provedení litinového lože. Soustruh je vybaven dvoustupňovým frekvenčním měničem, který spolehlivě a přesně řídí rychlost otáčení vřeteníku a lze měnit i smysl otáčení. Přesnou rychlost znázorňuje diodový ukazatel otáček.

Podpěra nástroje je široká, lehce nastavitelná pomocí rychloupínače s plynulým nastavením výšky. Robustní je koník, uložený na dvojitém vedení. K soustruhu lze zakoupit bohaté příslušenství.



Obr. 2.1 Soustruh DF 1200 HOLZMANN [7]

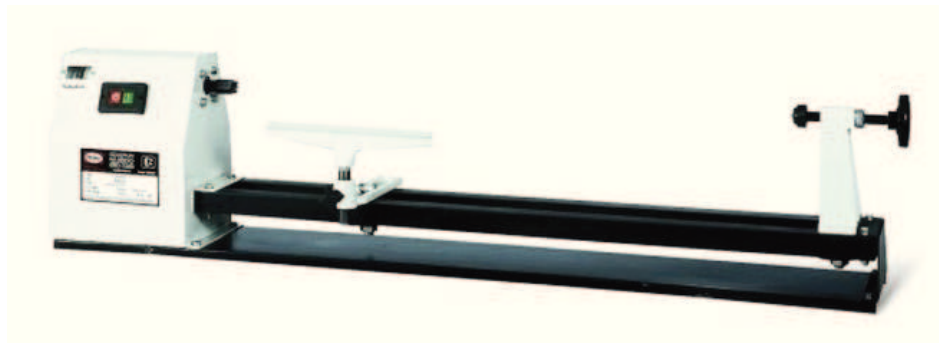
Technické parametry

Tab. 2.1 Tech. Parametry DF 1200 HOLZMANN [7]

Otáčky [ot./min.]	0 – 1200, 0 - 3200
Výška hrotu [mm]	230
Točná délka [mm]	1200
Výkon [W]	1100
Příkon [W]	1650
Napájecí napětí [V]	230
Rozměry [mm]	570 x 1720 x 550
Hmotnost [kg]	26
Cena [Kč]	41 970

Soustruh PROMA DSO-1000

Soustruh na dřevo Proma DSO-1000 je určen pro běžné soustružení rotačních, kuželových a tvarových ploch z měkkého i tvrdého dřeva. Změna otáček je řešena pomocí řemenu a čtyřstupňových řemenic. Soustruh není vybaven integrovaným stolem, proto musí být upevněn ke stolu pomocí otvorů v loži. K soustruhu lze namontovat přídatné zařízení pro malé série.



Obr. 2.2 Soustruh PROMA DSO-1000 [7]

Technické parametry:

Tab. 2.2 Tech. Parametry PROMA DSO-1000 [7]

Otáčky [ot./min.]	850 – 2510
Točný průměr [mm]	350
Točná délka [mm]	1000
Výkon [W]	400
Napájecí napětí [V]	230
Rozměry [mm]	1450 x 205 x 325
Hmotnost [kg]	35
Cena [Kč]	4 270

Soustruh SCHEPPACH dms 900

Jedná se o vysoce výkonný soustruh s možností otáčení po i proti směru hodinových ručiček. Soustruh je navržen pro řemeslníky, kteří potřebují stroj s výborným výkonem za dostupnou cenu. U této série je použit litinový stůl, vřeteník,

koník i podpěra pro zvýšení tuhosti a tlumení vibrací. Soustruh je poháněn velmi tichým indukčním motorem s velkým momentem. Díky rozsahu otáček je vhodný pro malé i velké obrobky. Soustruh je vybaven otočným vřetenem, což umožňuje obrábění velkých průměrů vně stroje.



Obr. 2.3 Soustruh SCHEPPACH dms 900 [6]

Technické parametry:

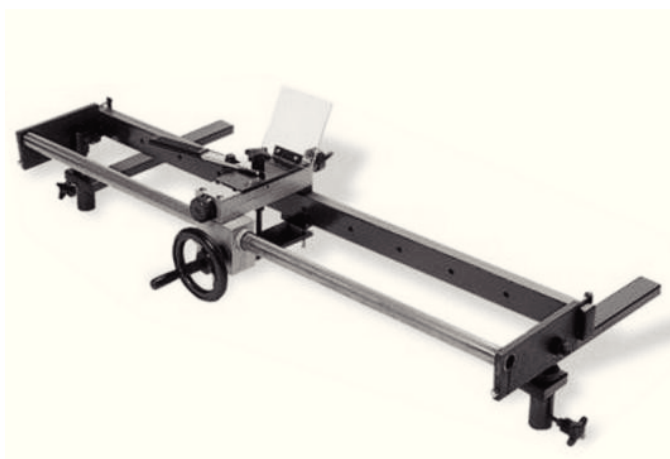
Tab. 2.3 Tech. Parametry Scheppach dms-900 [6]

Otáčky [ot./min.]	500 - 2100
Výška hrotu [mm]	175
Točná délka [mm]	1050
Výkon [W]	500
Příkon [W]	750
Napájecí napětí [V]	230
Rozměry [mm]	1610 x 490 x 1175
Hmotnost [kg]	92
Cena [Kč]	12 325

2.2 Příslušenství k soustruhům

Kopírovací zařízení

Slouží jako pomůcka ke zhotovování více shodných kusů. Zařízení přenáší tvar modelu na obrobek posuvným nebo naklápěcím mechanismem a upnutý nůž obrábí polotovar. Přítlačná síla bývá nejčastěji vyvozována pružinou. Pojezd je řešen ozubeným převodem a ozubenou tyčí. Některé zařízení umožňují zmenšování nebo zvětšování v určitém poměru. Kopírovací zařízení jsou přídavná nebo integrovaná.



Obr. 2.4 Přídavné kopírovací zařízení [6]

Univerzální sklíčidlo

U některých soustruhů lze zaměnit unášecí hrot za sklíčidlo. To umožní pohodlnější upínání bez potřeby podpory koníkem a na obrobku se nevytvoří důlek a zářezy, jako při použití trnu. Sklíčidlo také umožní upnutí, při němž je možné obrábět vnitřní tvary a čela. Vyrábí se v několika velikostech a v provedení se čtyřmi a třemi čelistmi. Upínací část je tvořena závitem nebo kuželem.



Obr. 2.5 Univerzální sklíčidlo [6]

Lunety

Slouží k podepření dlouhých a tenkých obrobků. Tvoří ji obvykle litinový rám s kruhovým otvorem do něhož jsou umístěny nastavitelné palce s kladkou nebo pevné, které podpírají obrobek zpravidla ve třech bodech. Luneta se umísťuje kolmo k ose obrobku a upíná se na vedení lože. Lunety zabraňují jednak prohýbání obrobku, ale také nebezpečnému rozkmitání.



Obr. 2.6 Luneta s pevnými členy [6]

3 Konstrukční návrh a výpočet hlavních částí

Při konstrukci jsem částečně čerpal ze získaných informací a poznatků z části rešerše. Snažil jsem se volit vhodné a nenákladné řešení, které plní danou funkci.

U vyráběných soustruhů jsem se inspiroval především uspořádáním a tvarem jednotlivých částí. Dále jsem pak sledoval jednotlivé konstrukční prvky jako uložení vřetene, přenos momentu z motoru na hřídel, konstrukci lože z hlediska tuhosti a provedení stojanu.

U kopírovacího zařízení jsem se inspiroval integrovaným zařízením u vyráběných soustruhů a provedl jej demontovatelným s možností nastavení zdvihu a přítlačné síly.

Výsledkem je zhotovený 3D model ,výkres sestavy a výrobní výkresy v softwaru Autodesk Inventor Profesional 2010 viz. Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Model soustruhu s kopírovacím zařízením

3.1 Návrh lože soustruhu

Lože, neboli jakýsi rám, je jednou z nejhlavnějších částí soustruhu. Je členem, ke kterému jsou připojeny jednotlivé díly a celky, jako například pohon, vřeteník, vedení pro koník a podpěru, nohy soustruhu. Musí splňovat určité požadavky, které se odrazí na samotném výrobku. Je to především dostatečná tuhost a geometrická přesnost výroby lože.

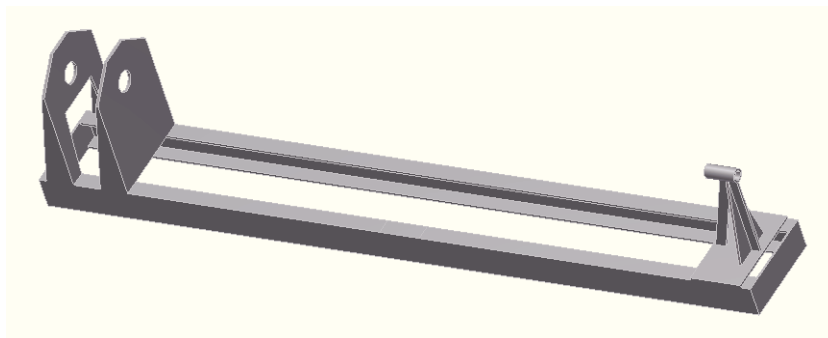
Nabízí se několik možností konstrukce lože. Nejvhodnější je lože odlité. Odlité lože představuje vysokou tuhost, tlumení rázu a chvění. To se odráží v hmotnosti. Odlévané lože bych volil spíše pro větší soustruhy pro dřevo obrábějící dílny a závody, nebo pro sériovou výrobu soustruhů z hlediska ceny odlitků.

Další možností je lože svařované například z hutních profilů a plechů. To jsem volil já. Výroba je levnější a hmotnost podstatně menší. Pro dané použití dostačující. Tuhost mnou navrženého svařovaného lože jsem si ověřil metodou MKP.

Ověření tuhosti lože pomocí MKP

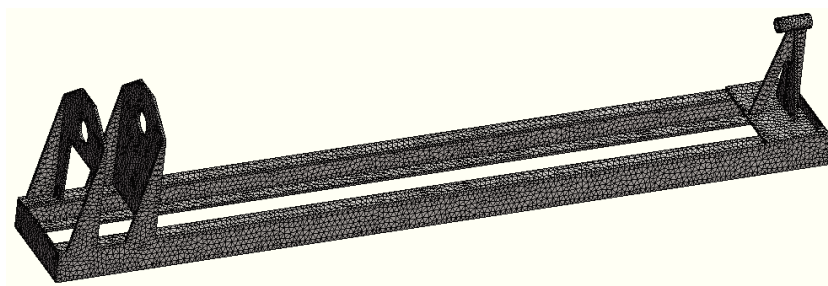
Pomocí softwaru ANSYS 13.0 jsem provedl deformační a napěťovou analýzu modelu lože s částí koníku.

V softwaru Autodesk Inventor Professional 2010 jsem vymodeloval zjednodušený model. V porovnání s reálným je bez rádiusu, zkosení, závitů a zanedbatelných děr, Obr. 3.2. To je důležité, aby bylo možné vytvořit síť.



Obr. 3.2 Zjednodušený model lože s částí koníku

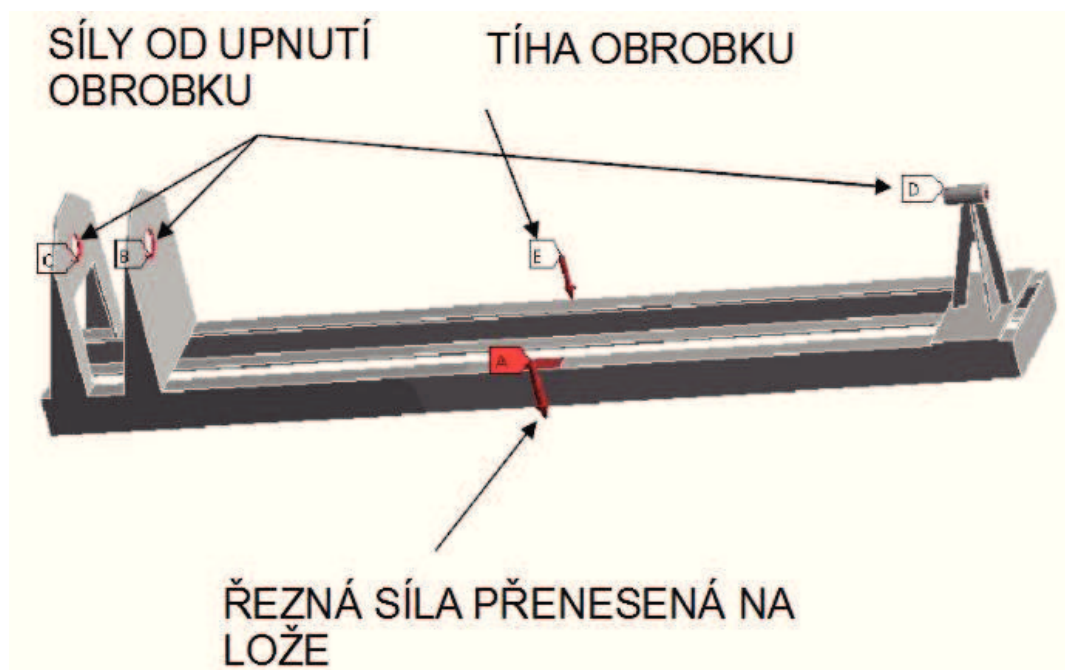
Model jsem vysítíval elementy, čtyřstěny o délce hrany maximálně 5 mm.



Obr. 3.3 Vysítívaný model

Důležité je zadat materiálové hodnoty jako Poissonovo číslo, modul pružnosti a samotný materiál, v tomto případě ocel.

Dále jsem zadal okrajové podmínky, které zastupují reakce a zatížení. A to síly, které vzniknou upnutím obrobku, tíha obrobku a řezná síla vznikající při soustružení viz. Obr.3.4.



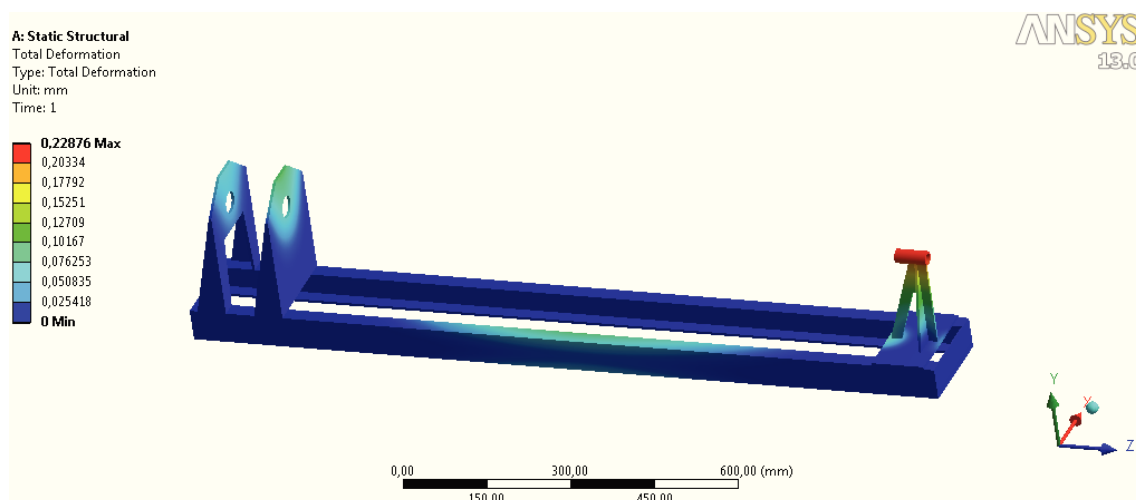
Obr. 3.4 Okrajové podmínky - zatížení



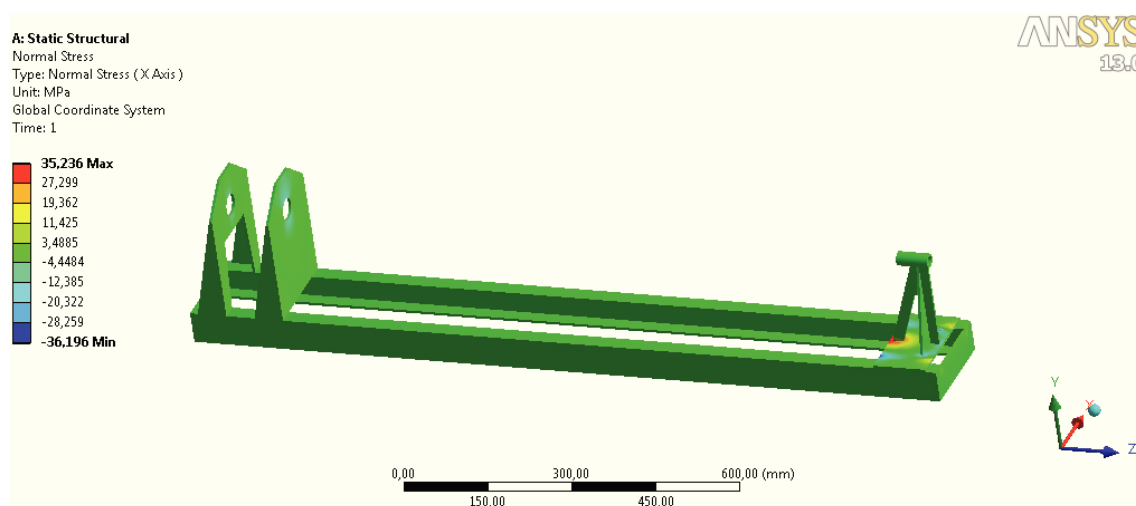
Obr. 3.5 Okrajové podmínky – zafixované plochy

Výsledkem jsou hodnoty deformace a napětí, Obr. 3.6 a Obr. 3.7. Maximální deformace je 0,2mm a maximální napětí 35MPa v oblasti koníku. Napětí a deformace jsou únosné, tuhost lože je dostatečná.

Z Obr. 3.6 je také zřejmé, že jedna strana lože je zatížena více. To způsobuje řezná síla, která se přenesla přes podpěru dláta na část lože.



Obr. 3.6 Průběh deformace modelu



Obr. 3.7 Průběh napětí

3.2 Volba pohonu a výpočet výkonu

Jako pohon jsem zvolil jednofázový elektromotor s rozběhovým kondenzátorem. Jedná se o nejrozšířenější pohon, s vysokou spolehlivostí, jednoduchou konstrukcí a napájením z běžné sítě. Volil sem konstrukci s upínáním na přírubě motoru a přes ni je upevněn k desce napínání řemene.

Výpočet výkonu elektromotoru:

Při výpočtu potřebného výkonu elektromotoru jsem vycházel z řezného odporu vznikajícího při soustružení na největším točném průměru při otáčkách elektromotoru $1400 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, vzorec (5) a (6).

Řezná síla je dána součinem plochy odebírané třísky a řezným odporem, vzorec (1). Plochu odebrané třísky jsem určil jako součin posuvu na jednu otáčku obrobku a hloubky záběru (2).

$$F_z = S \cdot p_{\tilde{R}} = 0,5 \cdot 70 = \underline{35N} \quad (1)$$

$$S = s_p \cdot h_z = 2,5 \cdot 0,2 = \underline{0,5mm^2} \quad (2)$$

Při určení řezného odporu jsem vycházel z pevnosti dřeva v tlaku napříč vláknům a použil největší danou pevnost dřeva z Tab. 3.2.

Tab. 3.2 Pevnost dřeva v tlaku napříč vlákny [10]

Druh dřeva	Mez pevnosti v tlaku napříč vlákny při vlhkosti [MPa]	
	12%	>30%
Modřín	4,5	2,5
Borovice	5,2	3,1
Smrk	3,4	2,3
Dub	11,0	6,5
Jílm	5,8	3,5
Buk	12,9	7,3
Habr	14,0	7,9

$$p_{\tilde{R}} \cong (4 \div 5) \cdot R_{md} = 5 \cdot 14 = \underline{70MPa} \quad (3)$$

$$R_{md_{HABR}} = 14MPa \quad (4)$$

Samotný výpočet výkonu:

$$P_e = F_z \cdot v = 35 \cdot 20,5 = \underline{717,5W} \quad (5)$$

Výpočet obvodové rychlosti na obvodu největšího obrobku:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,28 \cdot 1400}{60} = \underline{20,5m \cdot s^{-1}} \quad (6)$$

VOLÍM ELEKTROMOTOR O VÝKONU 750W

Tab. 3.1 Tech. parametry elektromotoru

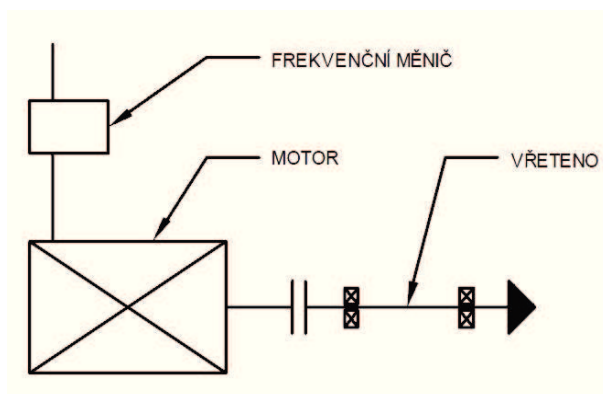
Výkon [W]	750
Otáčky [ot./min.]	1400
Hmotnost [kg]	9,2
Napájecí napětí [V]	230

3.3 Volba převodu

Pro přenos a změnu hroudícího momentu a otáček z motoru na hřídel vřetena je zapotřebí převodu. K realizaci je možné použít několik řešení.

Frekvenční měnič

Prvním řešením může být použití elektromotoru s frekvenčním měničem. Jedná se o dnes velmi často používaný člen a díky kvalitním elektromotorům odpadají převody. Výhodou jsou malé rozměry, hmotnost, tichost chodu, jednoduché ovládání, nepotřebnost převodů a hlavně plynulá elektronická regulace. Nevýhodou je poměrně vysoká cena a vznik nežádoucího elektromagnetického rušení, ale i přesto se u řady soustruhů používá. Pro ochranu elektromotoru proti přetížení se doporučuje použití vhodné spojky.

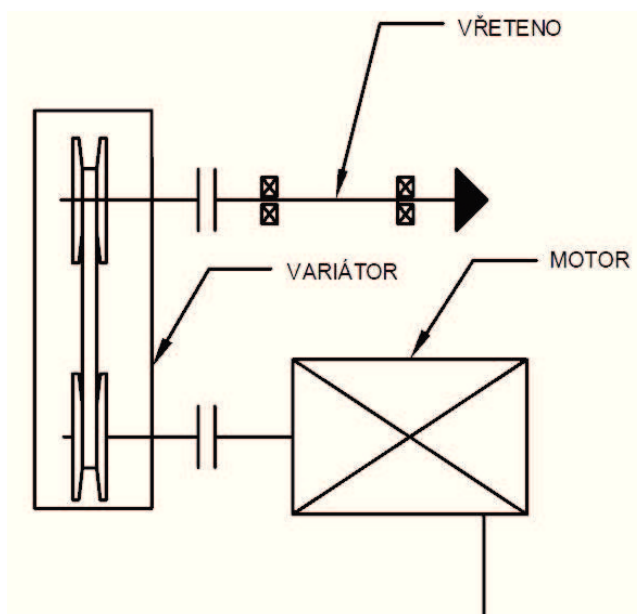


Obr. 3.8 Schéma použití frekvenčního měniče

Variátor

Použít se dá i variátor, který umožní plynulou mechanickou regulaci. Princip je podobný jako u řemenice, s rozdílem využití proměnného průměru hnacího i hnacího kola.

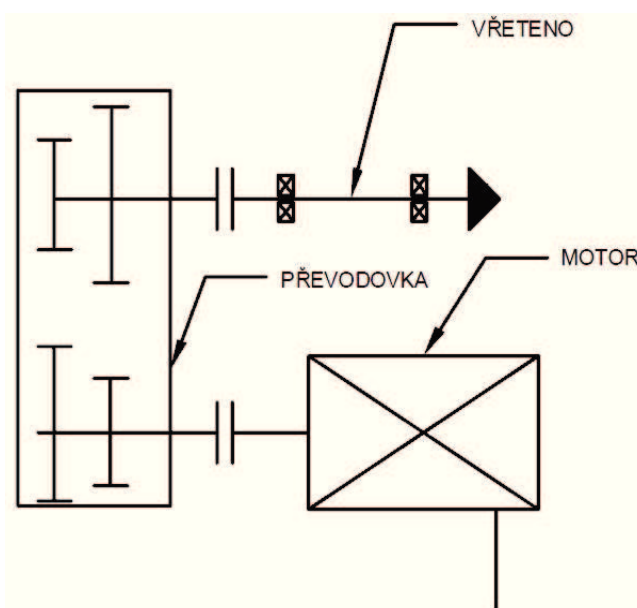
Při konstrukci se využívá páru kuželových kol na hnané i hnací hřídeli, které tvoří drážku pro řemen. Změnou rozteče mezi kužely dochází ke změně průměru drážky pro řemen. Polohy kuželů na straně hnané a hnací musí být v určitém poměru, aby byla zaručen konstantní obvod a tím i délka řemenu. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady, hmotnost a údržba.



Obr. 3.9 Schéma použití variátoru

Převod ozubenými koly

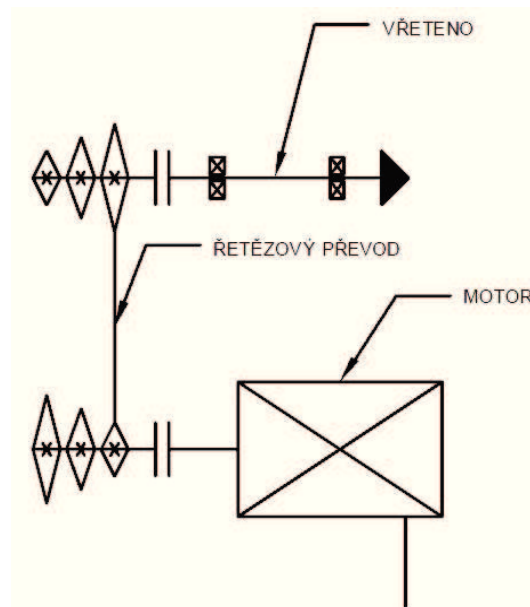
Převod ozubenými koly je pro toto použití nevhodný. A to z několika důvodů jako je drahá výroba, složitá konstrukce a změna otáček, hluk, mazání, hmotnost.



Obr. 3.10 Schéma použití ozubeného převodu

Řetězový převod

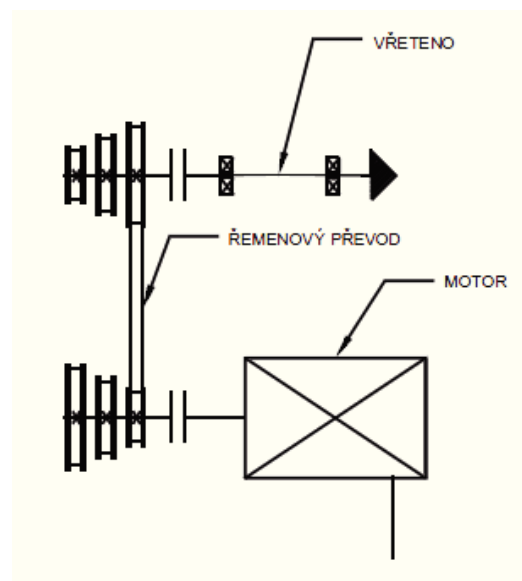
Jedna z jednoduchých variant konstrukce převodu. Přesto má několik nevýhod, hluk, mazání řetězu, nedovolí prokluz a tím je nutno použít ochrannou spojku proti přetížení motoru.



Obr. 3.11 Schéma použití řetězového převodu

Řemenový převod

Přenos sil je zprostředkován pomocí řemenu, který je napnut mezi dvěma řemenicemi. Výhodou je tichý chod, snadná údržba, jednoduchá výroba, pojištění proti přetížení. Nevýhodou pak napínání, velká osová vzdálenost řemenic, možnost prokluzu, špatně odolává vlivům prostředí a zatěžuje ložiska předepínací silou.



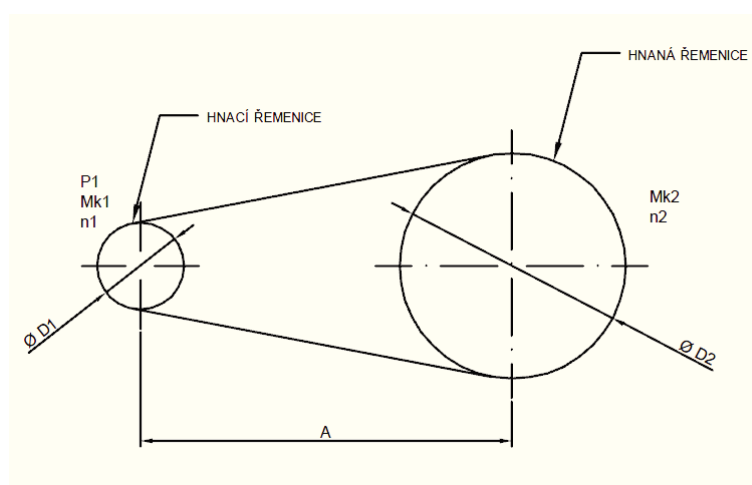
Obr. 3.12 Schéma použití řemenového převodu

Pro přenos momentu jsem použil řemenový převod kvůli jednoduché konstrukci, tichému chodu, tlumení rázů, snadné údržbě a nízké ceně. Splňuje dané požadavky, jen nedovoluje plynulou regulaci otáček. Otáčky se mění při stojícím stroji přehozením řemene mezi stupni pro požadované otáčky.

VOLÍM ŘEMENOVÝ PŘEVOD

3.4 Návrh a výpočet řemenového převodu

Cílem je navrhnout řemenový převod pro přenos výkonu z elektromotoru na hřídel. Známy je přenášený výkon, otáčky elektromotoru a požadované otáčky vřetene.



Obr. 3.13 Schéma řemenového převodu

Znamé hodnoty:

$$P_e = 0,75 kW$$

$$n_2 = 1400 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n_3 = 1900 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

Dle ČSN 02 31111 volím průřez řemenu Z, který se doporučuje pro výkony do 2kW.

VOLÍM ŘEMEN PRŮŘEZU Z

Výpočet převodového poměru:

$$i = \frac{n_3}{n_2} = \frac{1900}{1400} = 1,36 \quad (7)$$

Výpočet maximálního průměru hnací řemenice:

$$D_{1_{MAX}} = \frac{60000 \cdot v_{1_{MAX}}}{\pi \cdot n_1} = \frac{60000 \cdot 30}{\pi \cdot 1400} = \underline{409,256mm} \quad (8)$$

Minimální průměr hnací řemenice dle ČSN 02 3179:

$$D_{1_{MIN}} = \underline{90mm}$$

Výpočet průměru hnané řemenice a určení normalizované velikosti výpočtového průměru:

$$D_2 = D_1 \cdot i = 90 \cdot 1,36 = 122,4mm \Rightarrow \underline{125mm} \quad (9)$$

Skutečný převodový poměr s ohledem pro skluz:

$$i_{SK} = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1-s)} = \frac{125}{90 \cdot (1-0,02)} = \underline{1,42} \quad (10)$$

$s = 0,01 \text{ Re } kord, s = 0,02 \text{ Industrial}$

Výpočet obvodových rychlostí řemenic:

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60} = \frac{\pi \cdot 0,09 \cdot 1400}{60} = \underline{6,597m \cdot s^{-1}} \quad (11)$$

$$v_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{60} = \frac{\pi \cdot 0,125 \cdot 1900}{60} = \underline{12,435m \cdot s^{-1}}$$

Určení osové vzdálenosti řemenic:

$$A_{MIN} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (D_2 - D_1) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (125 - 90) = \underline{24,749mm} \quad (12)$$

$$A_{MAX} = 2 \cdot (D_1 + D_2) = 2 \cdot (90 + 125) = \underline{430mm} \quad (13)$$

Volím: $A = \underline{355mm}$

Určení délky řemene:

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot A} = \frac{125 - 90}{2 \cdot 355} \Rightarrow \alpha = \underline{174,35^\circ} \Rightarrow \frac{\alpha}{2} = \underline{87,174^\circ} \quad (14)$$

$$\gamma = 90 - \frac{\alpha}{2} = 90 - 87,175 = \underline{2,825^\circ} \quad (15)$$

$$L^I_P = 2 \cdot A \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{2} \cdot (D_1 + D_2) + \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (D_2 - D_1) =$$

$$2 \cdot 355 \cdot \sin 87,174 + \frac{\pi}{2} \cdot (90 + 125) + \frac{\pi \cdot 2,825}{180} \cdot (125 - 90) = \underline{1048,584mm} \quad (16)$$

Volím délku z normalizované řady dle ČSN 02 3110: $L_P = \underline{1120mm}$

Výpočet skutečné osově vzdálenosti:

$$A_{SKUT} = \frac{1,04 \cdot L_P - \frac{\pi}{2} \cdot (D_1 + D_2) - \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (D_2 - D_1)}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}$$

$$A_{SKUT} = \frac{1,04 \cdot 1120 - \frac{\pi}{2} \cdot (90 + 125) - \frac{\pi \cdot 2,826}{180} \cdot (125 - 90)}{2 \cdot \sin 78,174} \quad (17)$$

$$A_{SKUT} = \underline{413,179mm}$$

Kontrola počtu řemenů:

$$K = \frac{P_1}{N_P \cdot C_K} = \frac{0,75}{0,918 \cdot 1} = 0,817 \Rightarrow \underline{1\text{ řemen}} \quad (18)$$

$$N_P = N_O \cdot \frac{C_\alpha \cdot C_L}{C_P} = 0,86 \cdot \frac{0,988 \cdot 1,08}{1} = \underline{0,918} \quad (19)$$

$$N_O = 0,86kW$$

$$C_\alpha = 0,988$$

$$C_L = 1,08 \quad [11]$$

$$C_P = 1,08$$

Výpočet předpětí řemene:

$$Mk = \frac{P_1}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{750}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1400}{60}} = \underline{5,116N \cdot m} \quad (20)$$

$$F = \frac{2 \cdot Mk}{D_1} = \frac{2 \cdot 5,116}{0,09} = \underline{113,689N} \quad (21)$$

$$F_0 = k \cdot \frac{F}{2} \cdot \frac{e^{f_k \cdot \bar{\alpha}} + 1}{e^{f_k \cdot \bar{\alpha}} - 1} = 1,5 \cdot \frac{113,689}{2} \cdot \frac{e^{1,457 \cdot 3,043} + 1}{e^{1,457 \cdot 3,043} - 1} = \underline{87,315N} \quad (22)$$

$$k = (1,3 \div 1,6)$$

$$f_k = \frac{f}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,429}{\sin \frac{34}{2}} = \underline{1,457} \quad (23)$$

$$\alpha = 34^\circ$$

$$f = f_0 + 0,012 \cdot v_1 = 0,35 + 0,012 \cdot 6,597 = \underline{0,429}$$

$$f_0 = 0,35 \quad (24)$$

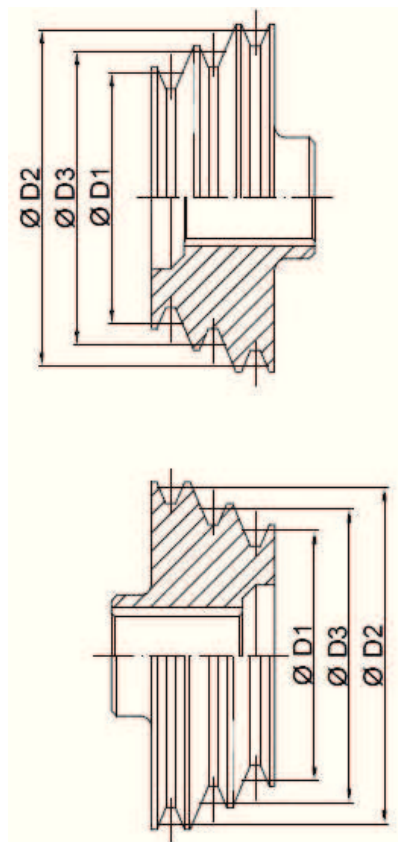
$$\hat{\alpha} = 3,043 \text{ rad}$$

RĚMEN Z – 1120 ČSN 02 3110 [11]

3.5 Návrh odstupňované řemenice

Změnu otáček jsem řešil přehazováním řemene mezi odstupňovanými řemenicemi. Při vypnutí stroji se povolí aretační šroub napínání, pozvedne se motor a přehodí řemen podle požadovaných otáček.

Volil jsem tři stupně rychlostí, které dostačují pro běžné soustružení. Řemenice je navržena tak, aby délka řemene pro všechny stupně byla shodná, vzorec (25).



Obr. 3.14 Schéma odstupňovaných řemenic

Při návrhu nejmenšího a největšího průměru vycházím z výpočtu řemenového převodu. Řemenice jsou vyrobeny ze slitiny hliníku, který postačuje pro přenášený výkon a sníží se hmotnost v porovnání s ocelovou řemenicí. Moment je přenášen z hřídele na řemenici pomocí pera a samotná řemenice je axiálně pojištěna šroubem s podložkou.

Znamé hodnoty z výpočtu řemenového převodu:

$$D_1 = 90mm$$

$$D_2 = 125mm$$

Výpočet středního průměru pro zachování délky řemene:

$$D_3 = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{90 + 125}{2} = \underline{107,5mm} \quad (25)$$

Možné otáčky:

$$n_1 = 900ot \cdot min^{-1}$$

$$n_2 = 1400ot \cdot min^{-1}$$

$$n_3 = 1900ot \cdot min^{-1}$$

3.6 Výpočet axiální a radiální síly působící na vřeteno

Axiální síla je vyvozena upnutím obrobku. Při upínání dochází k zakousnutí hrotů do polotovaru. Při výpočtu sem vycházel z teorie štípání dřeva, tedy vnikání klínu do materiálu dřeva. Sílu jsem vyjádřil se vzorce (26) pro výpočet odporu proti nástroji a použil nejvyšší hodnotu, Tab. 3.3. Plocha je dána plochou, která má být rozštípnuta, viz. (27).

$$R_w = (4 \div 5) \cdot \frac{F_{MAX}}{S_p} \Rightarrow F_{MAX} = (4 \div 5) \cdot R_w \cdot S_p = 5 \cdot 0,41 \cdot 96 = \underline{196,8N} \quad (26)$$

$$S_p = i_p \cdot (b_p \cdot l_p) = 4 \cdot (8 \cdot 3) = \underline{96mm^2} \quad (27)$$

Tab. 3.3 Odpor proti štípaní [10]

Druh dřeva	Odpor proti štípaní [MPa]			
	V radiální rovině při vlhkosti		V tangenciální rovině při vlhkosti	
	12%	>30%	12%	>30%
Modřín	0,26	0,16	0,26	0,16
Borovice	0,22	0,14	0,22	0,14
Smrk	0,18	0,11	0,18	0,11
Akát	0,40	0,25	0,53	0,32
Jasan	0,43	0,27	0,45	0,27
Dub	0,32	0,20	0,44	0,27
Buk	0,33	0,20	0,50	0,30
Habr	0,41	0,25	0,55	0,34
Topol	0,19	0,12	0,25	0,16

Radiální zatížení je tvořeno především tíhou obrobku. Tíhu obrobku jsem určil z objemu největšího obrobku co lze upnout a hustoty tvrdého dřeva, vzorec (28).

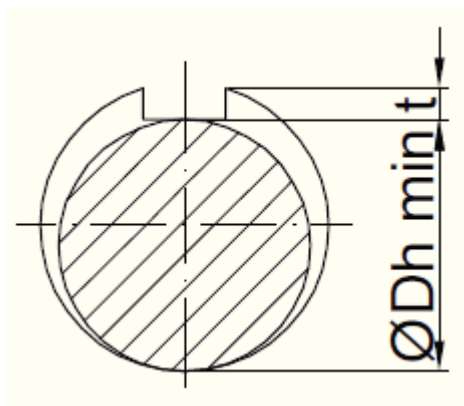
Výpočet radiálního zatížení:

$$F_R = V \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot l_o \cdot \rho \cdot g = \frac{\pi \cdot 0,28^2}{4} \cdot 1 \cdot 720 \cdot 9,81 = \underline{443N} \quad (28)$$

3.7 Výpočet průměru hřídele vřetene

Jako materiál hřídele jsem volil ocel 11500. Hřídel je uložena ve dvou valivých ložiscích, na jedné straně osazena s drážkou pro pero pro upevnění řemenice, na druhé straně je osazení se závitem pro našroubování hrotů nebo sklíčidla.

Při návrhu nejmenšího průměru hřídele vycházím z podmínky na dovolený krut, vzorec (29). Průměr jsem dále zvětšil o hodnotu hloubky drážky pro pero, která značně oslabuje průřez, Obr. 3.15.



Obr. 3.15 Schéma zvětšení průměru hřídele

Podmínka namáhání hřídele krutem:

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d_h'^3}{16}} \leq \tau_D \quad (29)$$

$$\tau_D = 50 \text{ MPa} \text{ pro ocel hřídele 11500}$$

Vyjádření d' z podmínky:

$$\Rightarrow d_h' = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 7957,7}{\pi \cdot 50}} = \underline{9,324 \text{ mm}} \quad (30)$$

Výpočet kroutícího momentu pro nejnižší otáčky:

$$M_k = \frac{60 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot 10^3 = \frac{60 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot 10^3 = \underline{7957,7 \text{ N} \cdot \text{mm}} \quad (31)$$

Skutečný nejmenší průměr hřídele:

$$d_h = d_h' + t = 9,324 + 2,9 = \underline{12,224 \text{ mm}} \quad (32)$$

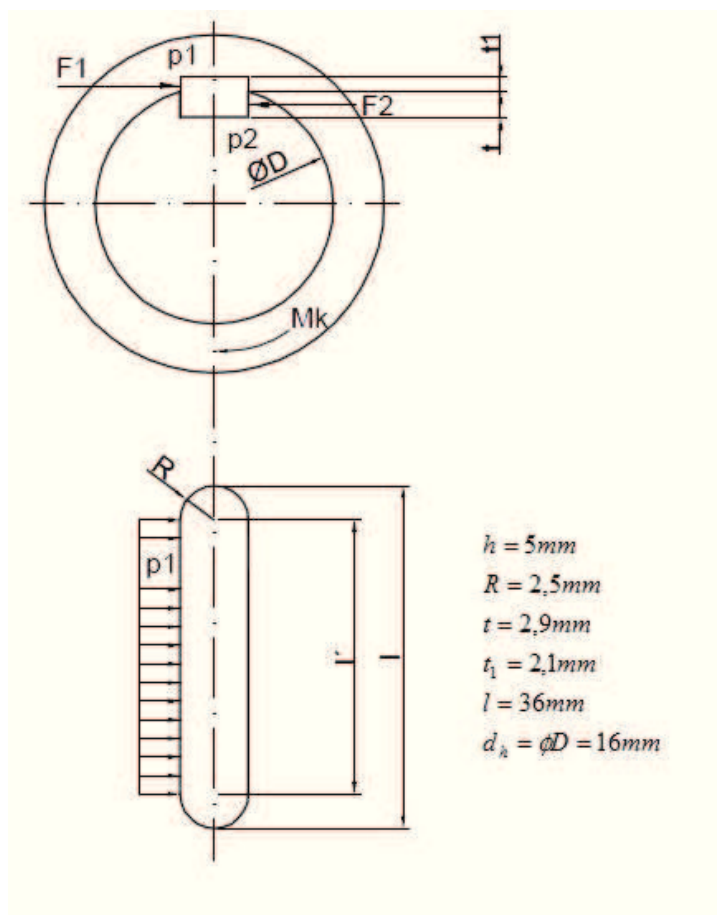
Volím průměr 16mm z důvodu oslabení závitem pro pojištění řemenice.

3.8 Kontrola pera na otlačení

Pero jsem kontroloval na otlačení dle dovoleného tlaku mezi perem a řemenicí řemenicí. Jedná se o PERO 5e7 x 5 x 36 ČSN 02 2562. [11]

Pero slouží k přenosu momentu mezi hřídelí a řemenicí. Na část pera zapuštěného v hřídeli působí síla F_2 a na ploše vzniká tlak p_2 . Na druhou část působí síla F_1 a vytváří na ploše tlak p_1 , viz Obr. 3.16. Jelikož je tato plocha menší, vzniká větší tlak a tím je náchylnější na otlačení. Kontroluje se pouze otlačení mezi perem a řemenicí, viz vzorec (35).

Sílu F_1 jsem určil z podílu přenášeného momentu a průměru na kterém síla působí, (33). Při výpočtu plochy ve vzorci (35) je třeba délku pera zmenšit o hodnoty zaoblení, protože nepřiléhají k drážce řemenice, viz. (34).



Obr. 3.16 Schéma zatížení pera

Výpočet síly F_1 působící na část pera v řemenici:

$$F_1 = \frac{M_k}{\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{7958}{\frac{16}{2} + \frac{2,1}{2}} = \underline{879N} \quad (33)$$

Určení výpočtové délky pera:

$$l' = l - 2 \cdot R = 36 - 2 \cdot 5 = \underline{26mm} \quad (34)$$

Kontrola měrného tlaku:

$$p_1 = \frac{F_1}{t_1 \cdot l'} \leq p_D \quad (35)$$

$$p_1 = \frac{879}{2,1 \cdot 26} = 16MPa \leq 30MPa$$

Dovolенý měrný tlak pro hliník je $p_D = 30 \div 40MPa$. [11]

DÉLKA PERA VYHOVUJE

3.9 Trvanlivost ložisek

Pro uložení hřídele vřetena jsou použity dvě jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem LOŽISKO B 7204 C ČSN 02 4645. [11]

Trvanlivost ložiska je dána počtem otáček, které vykoná jeden kroužek vzhledem k druhému kroužku, dokud se neobjeví první příznaky únavy materiálu.

Mezi ložisky stejného typu mohou být však značné rozdíly v trvanlivosti, proto se pro výpočet trvanlivosti používá základní trvanlivost, prezentovaná dobou provozu při spolehlivosti 90%, (37)

$$C = 11400N$$

$$C_o = 7650N$$

$$\alpha_L = 15^\circ$$

$$X = 1$$

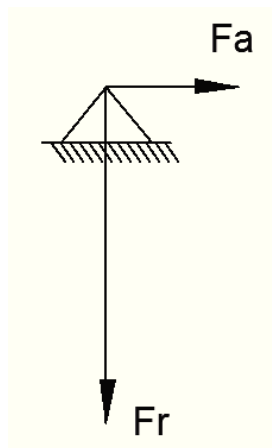
$$Y = 0$$

$$F_r = 435N$$

$$F_a = 197N$$

Výpočet radiálního dynamického ekvivalentního zatížení:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1 \cdot 435 + 0 \cdot 197 = \underline{435 N} \quad (36)$$



Obr. 3.17 Zatížení ložiska

Výpočet základní trvanlivosti ložiska v hodinách:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^m \cdot \frac{10^6}{n \cdot 60} = \left(\frac{11400}{435} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{1900 \cdot 60} = \underline{157885 \text{ hod.}} \quad (37)$$

$m = 3$ pro bodový styk

Základní trvanlivost ložisek pro obráběcí stroje se pohybuje okolo 30 000 hodin. Ložisko je z hlediska trvanlivosti předimenzované, ale díky velikosti hřídele nelze použít menší.

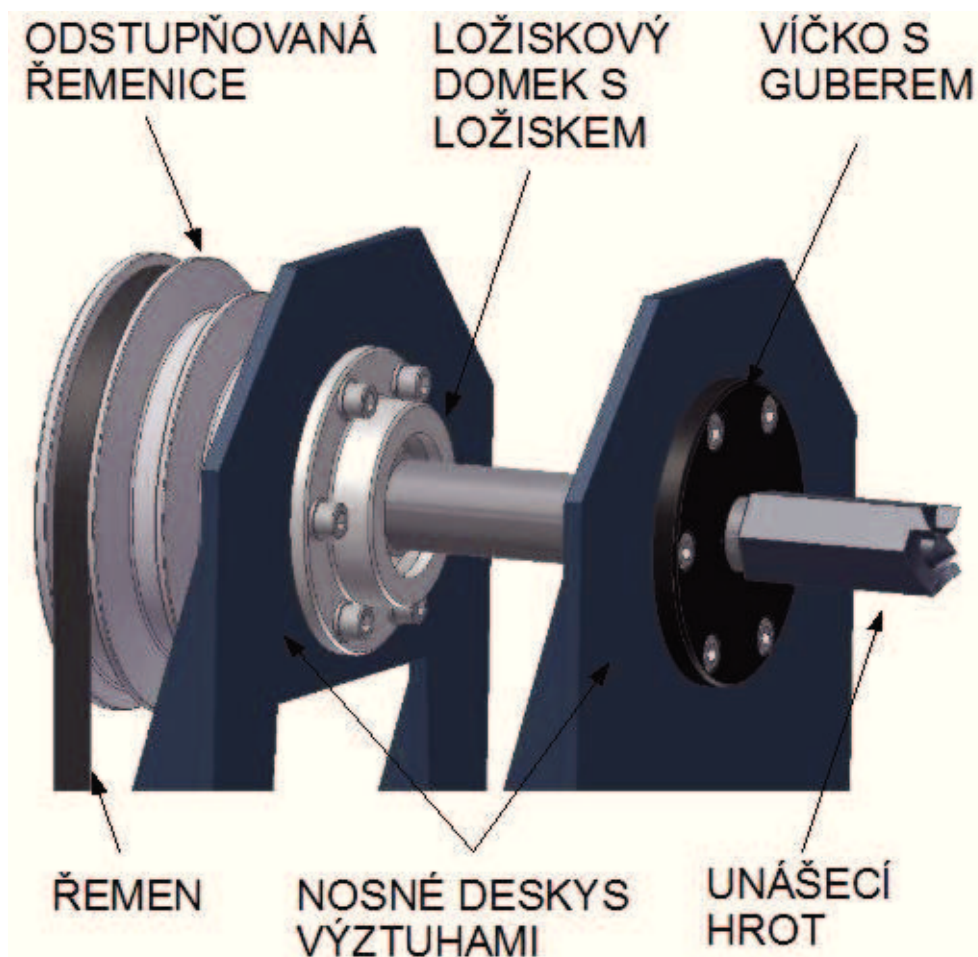
LOŽISKO VYHOVUJE

4 Konstrukce jednotlivých částí

4.1 Vřeteník

Nosné části vřeteníku jsou svařované z desek a výztuh, následně jsou části ploch opracovány, aby správně dosedaly ložiskové domky a ložiska byly v ose. Hřídel vřetena, která přenáší moment z řemenice na hrot a dále na obrobek, je uložena na dvou kuličkových ložiscích s kosoúhlým stykem. Na jedné straně hřídele je závit pro našroubování hrotu nebo sklíčidla a na druhém je upevněna řemenice. Hřídel je pojištěn proti posunutí pojistným kroužkem. Ložiska jsou uložena v ložiskových domcích a domky upevněny k deskám pomocí šesti šroubů. Na čele přední desky je víčko s těsněním v podobě guferu, které zabraňuje vnikání nečistot a prachu.

Vřeteník je zakrytován plechovým krytem, který je přišroubován k deskám. Kryt je ze strany opatřen dvířky pro přístup k řemenovému převodu. Dvířka jsou z hlediska bezpečnosti pojištěna elektronickou pojistkou, která v případě otevření za chodu vypne motor.

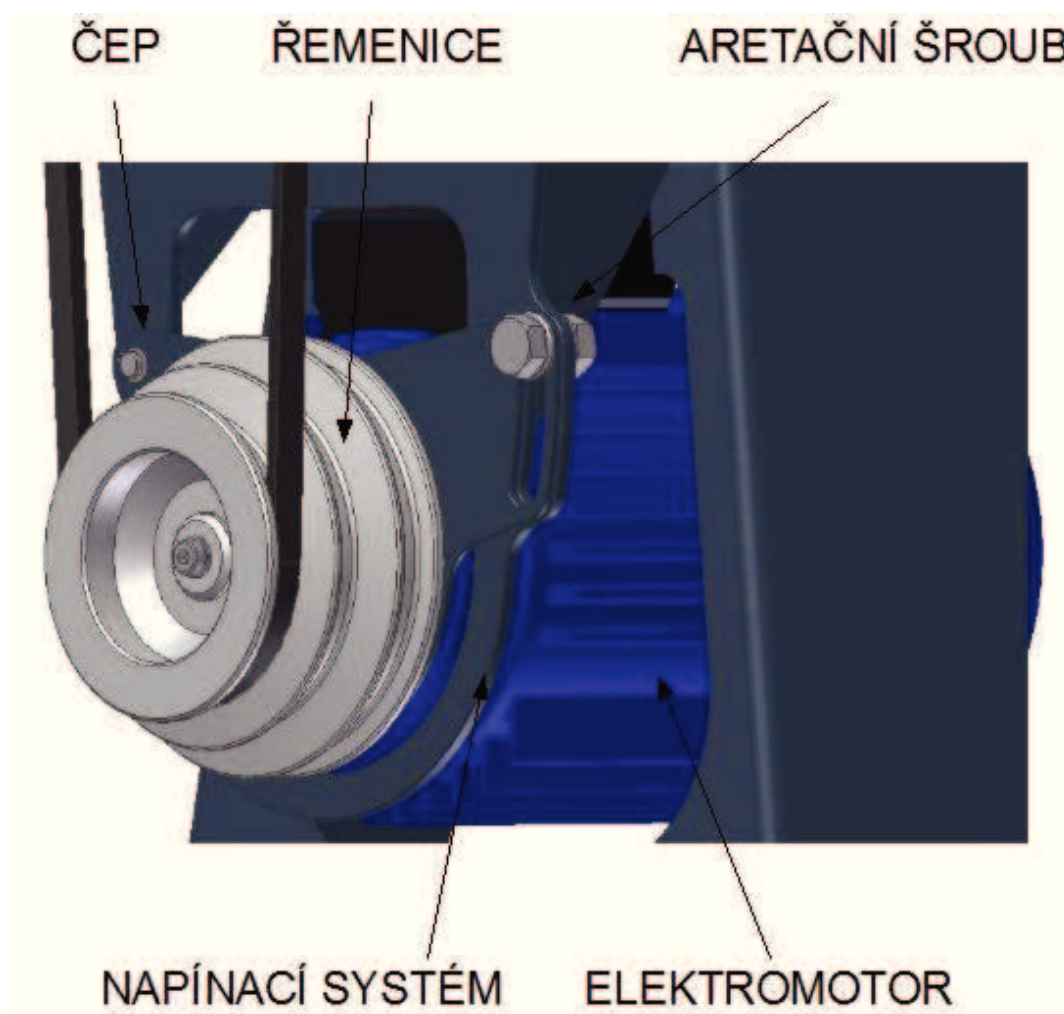


Obr. 4.1 Vřeteník

4.2 Uložení motoru a napínání řemene

Elektromotor je připevněn k desce napínání řemene. Ta je uložena na čepu, aby mohl být napínán řemen. K napnutí postačuje vlastní tíha motoru. Aretace polohy motoru jsem řešil šroubem. Při povolení a nadzvednutí motoru lze přehodit řemen podle požadovaných otáček vřetene.

Řemenice je uložena přímo na hřídeli motoru, pojištěna perem proti prokluzu, šroubem s podložkou a pružnou podložkou proti axiálnímu posunutí.

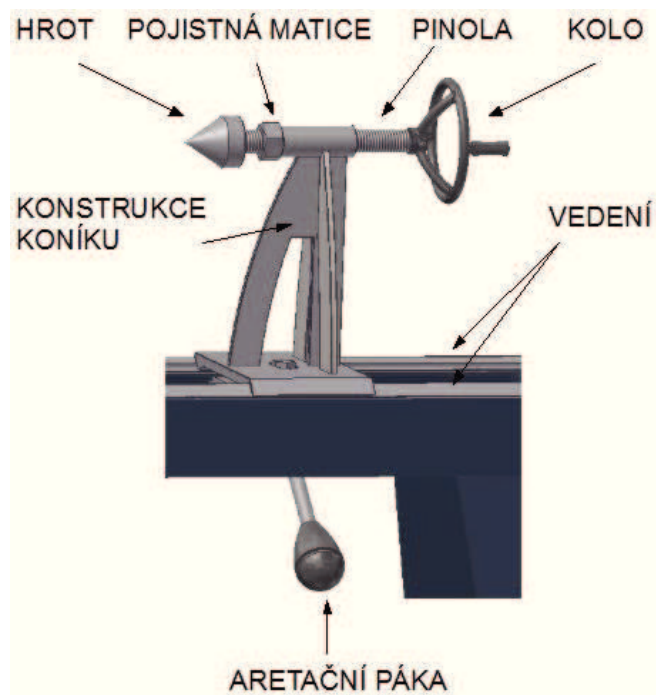


Obr. 4.2 Uložení motoru

4.3 Koník a vedení

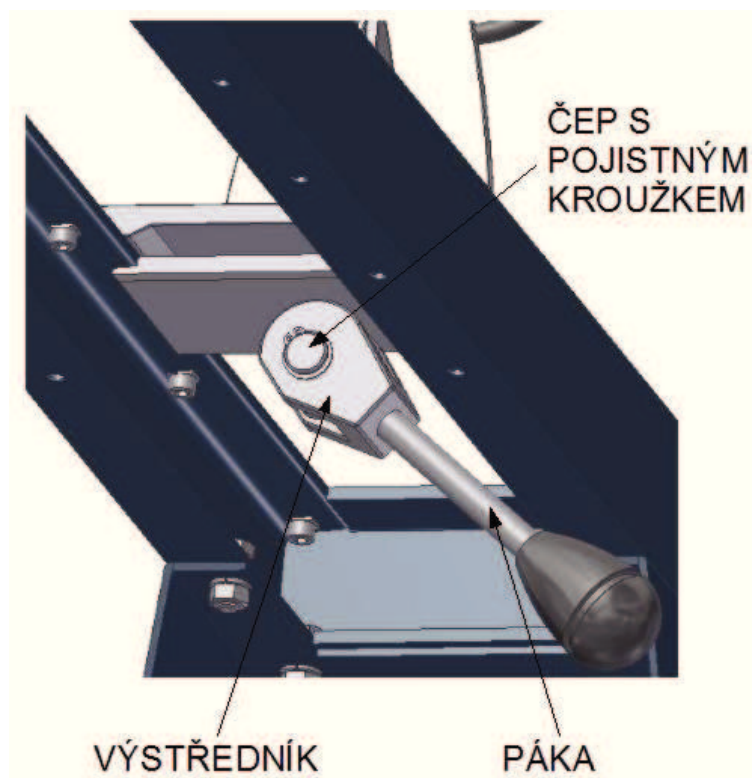
Konstrukci koníku jsem volil svařovanou z jednotlivých výpalku. Pohyb hrotu jsem řešil trapézovým šroubem. Šroub vyvodí dostatečnou sílu k upnutí obrobku a je kontrován maticí. Hrot koníku je nalisován na kuličkovém ložisku s kosoúhlým stykem a ložisko je nalisováno na osazení šroubu.

Vedení je trojúhelníkového průřezu s vrcholovým úhlem 90° a přišroubováno k loži šrouby, které jsou pojištěny pružnými podložkami. Jedno z vedení je opatřeno půlkulovou drážkou pro vedení kopírovacího zařízení.



Obr. 4.3 Koník a vedení

K aretaci koníku na vedení jsem použil páku s výstředníkem dle normy ČSN 24 3630.3. To poskytuje rychlé a spolehlivé zajištění. Přítlačná síla se přenáší na desky přes šroub a čep se závitem, který je ve výstředníku. Při povolení páky zle páku snadno vyšroubovat a koník odejmout.



Obr. 4.4 Aretace koníku pákou s výstředníkem

4.4 Podpěra dláta

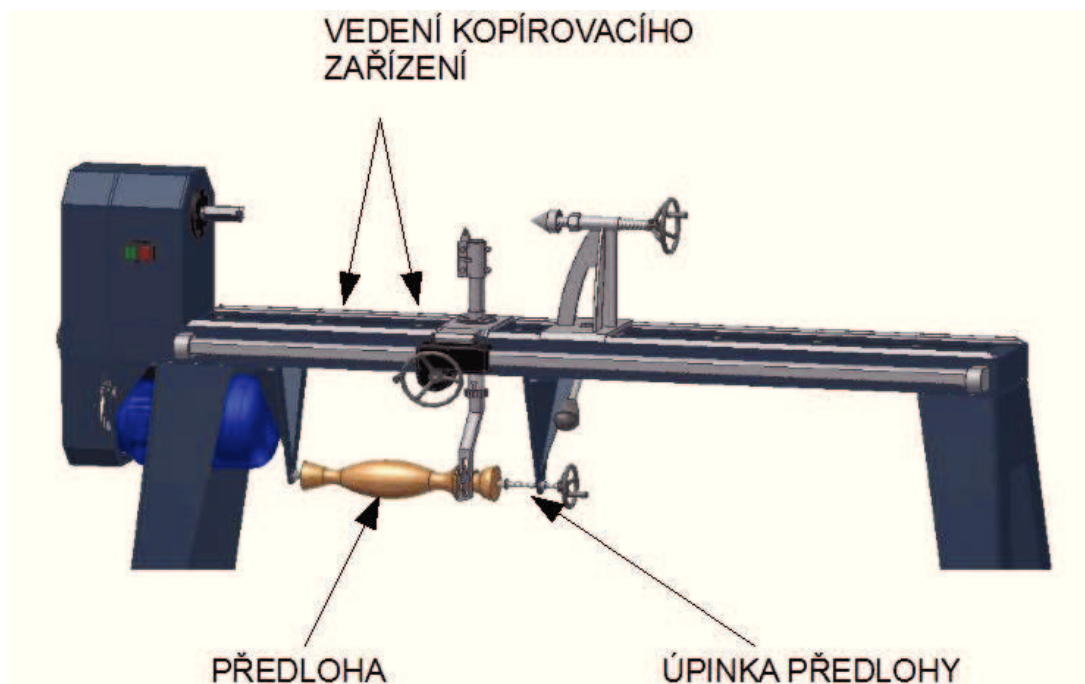
Samotná podpěra je nasunuta na tyči a pojištěna kolíkem. Tyč je uložena ve svěrném náboji, který zajišťuje rychlé nastavení výšky a natočení. Posuv celku do stran je aretován stejně jako koník, pákou s výstředníkem.



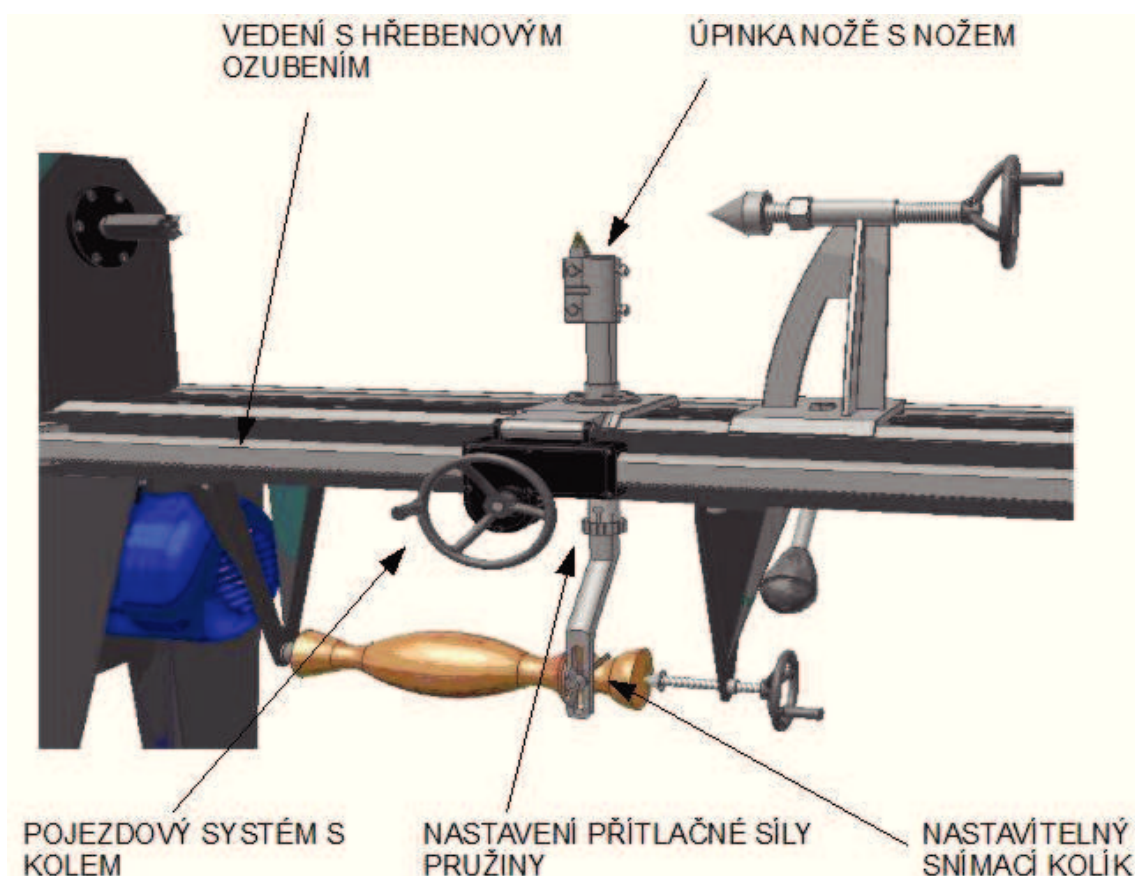
Obr. 4.5 Podpěra dláta

4.5 Kopírovací zařízení

Kopírovací zařízení slouží ke zhotovování více stejných kusů dle předlohy. Předloha může být rotační vysoustružená nebo plochá, například výpalek s danou geometrií, která tvoří povrch požadovaného obrobku. Předloha se umístí mezi posuvné konzoly a přitáhne šroubem. Při použití vypalované předlohy z plechu je třeba vyměnit upínací kužely za úpinky s drážkou.



Obr. 4.6 Kopírovací zařízení



Obr. 4.7 Detail kopírovacího zařízení

Kopírovací zařízení přenáší tvar z předlohy na obrobek tyčí, která je posuvně uložena, ale nedovoluje pootočení tyče. Tyč je k předloze přitlačována pružinou. Mechanismus umožňuje nastavení přitlačné síly a regulaci zdvihu podle velikosti

kopírovaného polotovaru. To lze regulovat povolením patice s kuželovou plochou, která svírá tyč.

Samotné kopírovací zařízení je uloženo na vedení a posouvá se díky ozubenému hřebenu a ozubeného mechanismu se šnekovým kolem. Zařízení je demontovatelné, po vyjmutí čepu mezi posuvným systémem a deskou lze část s tyčí odejmout a posuvné vedení odšroubovat..

V horní části tyče je úpinka pro soustružnický nůž, který se upíná pomocí šroubů.

5 Závěr

Dle zadání jsem navrhl soustruh na obrábění dřevěných polotovarů. Soustruh umožňuje obrábění obrobku o maximálním průměru 280mm, maximální délce 1000mm a je vybaven odjímatelným kopírovacím zařízením. V práci je vypracována rešerše související se soustruhy a obráběním dřeva, dále průzkum českého trhu s uvedením několika zástupců soustruhů s parametry a popisem. Také jsem provedl konstrukční návrhy a výpočty jednotlivých částí soustruhu, jako například volbu převodu a výpočet převodu, kontrolu životnosti ložisek a pera, výpočet průměru hřídele, výběr pohonu a výpočet výkonu motoru. Nakonec jsem představil konstrukci kopírovacího zařízení.

Navržený soustruh má svařované lože, vřeteník a koník z profilů, plechů a výztuh. Přenos momentu z elektromotoru na hřídel je řešena řemenovým převodem s řemenem Z – 1120 ČSN 02 3110. Změna otáček je dána třístupňovými řemenicemi. Napínání je řešeno systémem s aretací, kde k napnutí postačuje vlastní váha elektromotoru. Vřeteno je uloženo ve dvou kuličkových ložiscích s kosoúhlým stykem LOŽISKO B 7204 C ČSN 02 4645. Kopírovací zařízení umožňuje nastavení podle délky obrobku, nastavení zdvihu a přitlačné síly. Celá konstrukce je uložena na stojanu s policí pro odkládání příslušenství.

V tabulce Tab. 5 jsou uvedeny technické parametry navrženého soustruhu.

Tab. 5 Technické parametry navrženého soustruhu

Technické parametry soustruhu	
Točný průměr [mm]	280
Točná délka [mm]	1000
Výkon [W]	750
Otáčky [ot./min.]	900, 1400, 1900
Napájení [V/Hz]	230/50
Rozměry v x š x d [mm]	1150 x 440 x 1488
Hmotnost [kg]	73

V příloze je část výkresové dokumentace a to sestavné výkresy soustruhu bez kopírovacího zařízení, s kopírovacím zařízením a část výrobních výkresů.

Seznam použité literatury

- [1] Příručka obrábění: Kniha pro praktiky. Sandvik Coromant CZ. 1.vyd. Praha: Scientia,1997. ISBN 91-97 22 99-4-6
- [2] Umělecké soustružení dřeva. SKÁCEL, Petr. *Umělecké soustružení dřeva* [online]. Olomouc, 2008 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://www.drevo-soustruzeni.kvalitne.cz>
- [3] CZ BIOM. SOUČEK, Jiří. *CZ BIOM* [online]. Praha 6, 2000 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://stary.biom.cz/index.html>
- [4] Domácí soustružení. KAVAN, Petr. *Domácí soustružení* [online]. 2010 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.domaci-soustruzeni.cz>
- [5] RAŠKA, David. *Restaurování starožitností* [online]. 2010 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.restaurovanistarozitnosti.cz>
- [6] *NOTO: Soustruhy na dřevo* [online]. 2005 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.noto.cz>
- [7] *Boukal* [online]. 2010 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://shop.boukal.cz>
- [8] *Nářadí ESO* [online]. 2010 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://naradi.czesoc.cz>
- [9] *Garland* [online]. 2006 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.garland.cz>
- [10] Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva [online]. 2010 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/56>
- [11] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: [i] Strojnické tabulky.[/i] 1. vydání. Úvaly: Albra-pedagogické nakladatelství, 2003, ISBN 80-86490-74-2

Seznam příloh

Název	Číslo výkresu	Formát
SOUSTRUH S KOPÍRKOU	S-POL0035-01	A1
	S-POL0035-01K	A4
SOUSTRUH	S-POL0035-02	A1
	S-POL0035-02K	A4

KONÍK	S-POL0035-03	A3
	S-POL0035-03K	A4
HŘÍDEL	S-POL0035-04	A3
VODÍCÍ DESKA	S-POL0035-05	A3